

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Разработка способа проведения термометрических измерений сеансов локальной гипертермии в тканезквивалентном фантоме для радиосенсибилизации злокачественных новообразований.</b>

УДК 536.5.081:612.57:616-006.04

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A4A	Чинь Ван Хиен		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Алейник А. Н.	к.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Общекультурные компетенции</b>	
Р1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
Р2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
Р3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
Р4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
Р6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
Р9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
Р10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Уровень образования высшее

Отделение школы (НОЦ) ядерно-топливного цикла

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1.02.18	Составление и утверждение технического задания	2
08.02.18	Подбор и изучение материалов по теме	2
15.02.18	Выбор направления исследования	2
15.03.2018	Разработка прибора для измерения электрических свойств материалов	8
16.04.2018	Разработка фантома головного мозга	7
15.05.2018	Проведение термометрических измерений фантома головы для реального курса гипертермии	7
26.05.2018	Анализ и описание результатов	6
04.06.2018	Подготовка к защите ВКР	6

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Алейник А. Н.			

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_23.04.2018 Бычков П.Н.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврская работа
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0А4А	Чинь Ван Хиен

Тема работы:

Разработка способа проведения термометрических измерений сеансов локальной гипертермии в тканеэквивалентном фантоме для радиосенсибилизации злокачественных новообразований.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№2199/с от 28.03.2018 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	13.06.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	Разработка способа проведения термометрических измерений сеансов локальной гипертермии в тканеэквивалентном фантоме для радиосенсибилизации злокачественных новообразований.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"><li>– Разработать систему для измерения электрических свойств тканеэквивалентных материалов;</li><li>– Разработать тканеэквивалентный материалы на базе агарового геля;</li><li>– Создать фантом головного мозга с элементами опухоли и спинномозговой жидкости;</li><li>– Провести термометрические измерения в разработанном фантоме</li></ul>
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Алейник А. Н.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4А	Чинь Ван Хиен		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А4А	Чинь Ван Хиен

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление	14.03.02 Ядерные физика и технологии

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- Материальные затраты 2798,06 руб. - Основная заработная плата исполнителей темы 90101 руб. - Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ 2924,5 руб. Отчисления во внебюджетные фонды 24327,27руб. – Накладные расходы 16161 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- Тариф на промышленную электроэнергию 5,8 за 1 кВт•ч - Районный коэффициент города Томска -1,3
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер страховых взносов - 30%. Пониженная ставка - 27%.

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Разработка устава научно-технического проекта	– SWOT-анализа; – Планирование научно-исследовательских работ; – Разработка графика проведения научного исследования (диаграмма Ганта).
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Бюджет научно – технического исследования: – расчет материальных затрат; – расчет основной и дополнительной; – заработной платы исполнителей темы; – накладные расходы; – формирование бюджета затрат.

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НТИ

## Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4А	Чинь Ван Хиен		



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А4А	Чинь Ван Хиен

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ЯТЦ</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление	14.03.02 Ядерные физика и технологии

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, ионизирующее излучение);</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).</li> </ul>
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность;</li> <li>– пожаровзрывобезопасность;</li> <li>– требования охраны труда при работе на ПЭВМ и с паяльной станцией.;</li> </ul>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).</li> </ul>
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ОЯТЦ	Т.С. Гоголева	к.ф. —м.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А4А	Чинь Ван Хиен		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит: 85 страниц, 28 рисунков, 18 таблиц, 30 источников.

Ключевые слова: локальная гипертермия, фантом, новообразование, термометрия.

Объектом исследования является прибор для измерения электрических свойств материалов и эквивалентных фантомов головного мозга.

Целью данной работы является разработка способа проведения термометрических измерений сеансов локальной гипертермии в тканеэквивалентном фантоме для радиосенсибилизации злокачественных новообразований.

В процессе исследования была разработана система для измерения электрических свойств тканеэквивалентных материалов, разработаны тканеэквивалентные материалы на базе агарового геля, создан фантом головного мозга с элементами опухоли и спинномозговой жидкости, проведены термометрические измерения фантома.

В результате исследования было показано, что в условиях реалистичного фантома, во время сеанса локальной гипертермии, в области ликвор–мозг температура не превышает  $40^{\circ}\text{C}$ . В то время как в области опухоли создается более высокий уровень температуры и достигаются показатели, необходимые для проведения гипертермической радиосенсибилизации.

Область применения: ядерная медицина, гипертермия.

Бакалаврская работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016 с применением пакетов Microsoft Excel 2016.

## Содержание

Введение.....	14
1. Обзор литературы.....	15
1.1. Новообразование головного мозга.....	15
1.1.1 Опухоли головного мозга.....	15
1.1.2. Подходы к лечению новообразований головного мозга.....	16
1.1.2.2. Принцип действия гипертермии.....	19
1.1.3. Виды гипертермии.....	21
1.2 Измерение электрические свойства материала.....	22
1.2.1 Метод измерения электропроводности.....	22
1.2.2 Метод измерения диэлектрической проницаемости.....	24
2. Прибор для измерения электрических свойств материалов.....	27
2.1 Структурная схема прибора.....	27
2.1.1 Генератор синусоидального сигнала и источник тока.....	29
2.1.2 Инструментальные усилители.....	31
2.2 Фазовый детектор.....	31
2.2.1 Входной буфер.....	32
2.2.2 Микросхема AD8302.....	33
2.3. Atmega16.....	34
2.4 Проверка прибора на работоспособность.....	35
3. Разработка материалов для создания фантома головного мозга для локальной гипертермии.....	38
3.1 Создание эквивалента тканей головного мозга.....	38
3.2 Создание эквивалента спинномозговой жидкости.....	40
3.3 Создание эквивалента опухоли (глиома).....	42
3.4 Этапы сборки фантома.....	43
4. Термометрические измерения фантома головы для реального курса гипертермии.....	46
4.1 Оборудование.....	46
4.1.1 Система гипертермическая Celsius TCS для онкологии.....	46

4.1.2	Четырехканальная система термометрии Celsius TempSens. ....	47
4.2.	Термометрические измерения фантома головы для реального курса гипертермии .....	48
5.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	52
5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения ..	52
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	52
5.1.2	Анализ конкурентных технических решений .....	52
5.1.3	SWOT–анализ .....	54
5.2	Планирование научно–исследовательских работ.....	57
5.2.1	Определение трудоемкости выполнения работ .....	58
5.2.2	Разработка графика проведения научного исследования .....	60
5.3	Бюджет научно–технического исследования (НТИ).....	62
5.3.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	63
5.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	64
5.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	64
5.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	66
5.3.5	Накладные расходы .....	67
5.3.6	Формирование бюджета затрат научно–исследовательского проекта.....	68
5.4	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	68
6.	Социальная ответственность .....	71
6.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	72
6.2	Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и за паяльной установкой.....	73
6.2.1	Организационные мероприятия .....	73
6.2.2	Организация рабочего места.....	73
6.2.3	Условия безопасной работы.....	76

6.3 Электробезопасность .....	78
6.4 Пожарная и взрывная безопасность .....	80
Заключение .....	82
Список литературы .....	83

## **Введение**

Гипертермическая онкология представляет собой относительно новое, бурно развивающееся в последние 20 – 25 лет направление в лечении злокачественных новообразований, связанное с применением высокой температуры ( $40 - 43^{\circ}\text{C}$  при общем воздействии и/или  $42 - 47^{\circ}\text{C}$  при локальном) для повышения эффективности комбинированной или комплексной терапии больных в сочетании с лучевой и химиотерапией. Контроль температуры в очаге является важным аспектом проведения подобного лечения. На сегодняшний день сочетание локальной гипертермии с лучевой терапией является одним из перспективных направлений лечения рака.

Контроль тепловой дозы является важным при проведении сеансов локальной гипертермии головного мозга, ввиду высокой вероятности возникновения «горячих» зон, которые могут привести к разрушению нормальных тканей на границе раздела сред опухоль – мозг и ликвор – мозг.

Так как прямая термометрия головного мозга возможна только при нарушении целостности черепной коробки то возникает необходимость в разработке тканеэквивалентного фантома головы для исследования процессов происходящих во время сеансов локальной гипертермии.

Цель: разработка способа проведения термометрических измерений сеансов локальной гипертермии в тканеэквивалентном фантоме для радиосенсибилизации злокачественных новообразований.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработать систему для измерения электрических свойств тканеэквивалентных материалов;
2. Разработать тканеэквивалентный материал на базе агарового геля;
3. Создать фантом головного мозга с элементами опухоли и спинномозговой жидкости;
4. Провести термометрические измерения в разработанном фантоме

## **1. Обзор литературы**

### **1.1. Новообразование головного мозга**

#### **1.1.1 Опухоли головного мозга**

Среди глиальных опухолей преобладают астроцитомы, составляющие более 60% всех первичных опухолей головного мозга. Степень злокачественности этих новообразований определяется по ряду гистологических признаков: плотноклеточности, атипии ядер, митотической активности, некрозу и эндотелиальной пролиферации. Считается, что низкоклеточные опухоли имеют более доброкачественное биологическое поведение и лучший общий прогноз, а высококлеточные являются более агрессивными и характеризуются пониженной выживаемостью.

Глиобластома – опухоль высокой степени злокачественности, составляющая около половины всех астроцитом; супратенториальная опухоль часто встречается у взрослых и является самым распространенным первичным новообразованием ЦНС (12 – 15%). Начало проявления клинических симптомов обычно короткое: до установления диагноза проходит менее 3 мес. Прогноз при глиобластоме чрезвычайно плохой. Только 8 – 12% пациентов живут 2 года после установления диагноза, также высока частота рецидивирования. Глиобластома чаще всего возникает в субкортикальном белом веществе височной доли (31%), нередко с вовлечением белого вещества лобной доли, наличием участков некроза, кровоизлияний и распространением на кору мозга. Радиологически внешний вид отражает гистологические особенности в виде некроза, кровоизлияния и неоваскуляризации.

Медуллобластома – высококлеточная (IV тип по классификации ВОЗ) опухоль, которая чаще всего (75%) растет из червя мозжечка. Она является второй по частоте (после астроцитомы) опухолью у детей. Медуллобластомы метастазируют ликворным путем и обычно выявляются как накапливающие контраст в месте операции, в желудочках, интратекально в позвоночном канале, особенно вдоль заднего края спинного мозга. Гемангиобластома (ангиоретикулема) – доброкачественная, обычно одиночная

опухоль сложного гистогенеза. Наиболее частым местом возникновения опухоли является гемисфера мозжечка, далее следуют шейный отдел спинного мозга, продолговатый мозг и большие полушария (редко).

Менингиома – медленно растущая доброкачественная опухоль, возникающая из менингоэндотелиальных клеток оболочек мозга. Частота менингиом среди первичных интракраниальных опухолей составляет 13 – 26%, ежегодная заболеваемость – 6 случаев на 100 000 населения. В образовании хориоидальных сплетений участвует арахноидальная оболочка, вследствие чего возможно возникновение интравентрикулярных менингиом.

Невринома (шваннома) – доброкачественная опухоль с капсулой, исходящая из шванновских клеток. Она составляет до 5 – 10% первичных интракраниальных новообразований и почти 30% интраспинальных опухолей. Пик заболеваемости приходится на возраст 30 – 70 лет. Невриномы являются опухолями периферического отдела нервной системы и периферических участков черепных и спинномозговых нервов. [1]

### **1.1.2. Подходы к лечению новообразований головного мозга**

Тактика лечения рака определяется индивидуально для каждого пациента и зависит от стадии заболевания, типа раковых клеток и общего состояния здоровья больного. Чаще всего применяются такие методы как хирургия (в т. ч. и эндоскопическая), стереотаксическая хирургия, радиолучевая и химиотерапия. Наряду с этими способами лечения больному назначается симптоматическая терапия. [2]

Хирургическое удаление производится для максимально возможного уменьшения объема опухоли с целью разрешения внутричерепной гипертензии и уменьшения неврологического дефицита и получения достаточного количества морфологического материала (стандарт). Удаление опухоли должно быть оптимально как можно более полным, но без функционального риска (рекомендация). Для хирургического доступа стандартом является костно–пластическая трепанация. Удаление опухоли должно выполняться с



использованием микрохирургической техники и интраоперационной оптики (стандарт).

Дистанционная фракционированная ЛТ (лучевая терапия) является основным компонентом лечения для большинства пациентов с глиомами, а также часто необходима в лечении других опухолей (эпендимомы, медуллобластомы, герминативно-клеточные опухоли и пр.). При злокачественных опухолях (Grade III–IV) ЛТ следует начинать в сроки от 2 до 4 недель после операции (после заживления операционной раны) (стандарт). В ряде случаев, при очень быстро растущих опухолях, лечение допустимо начинать через 2 – 3 дня после операции при хорошем состоянии пациента (опция). Стандартным режимом дистанционной фракционированной ЛТ является облучение ложа удаленной опухоли (или опухоли) + 2 см вокруг с суммарной очаговой дозой 55– 60 Гр за 25 – 30 фракций (по 1.8 – 2.0 Гр на фракцию), проведенных за 5 – 6 недель. Зона патологического сигнала определяется по МРТ в T2 – режиме (или в режиме FLAIR для доброкачественных глиом). Если терапии подвергается спинной мозг, то его облучают профилактическими дозами 24 – 36 Гр; при этом при необходимости проведения ЛТ на отдельные опухолевые очаги в спинном мозге также не рекомендуется подведение дозы более чем 35 Гр. Общий объем мозгового вещества, облучаемый в высоких суммарных дозах, должен быть максимально уменьшен (рекомендация). Это лучше всего достигается ротационными методиками облучения с использованием современных электронных ускорителей с компьютерной системой трехмерного планирования радиотерапии (рекомендация), либо статическими многопольными методиками с тщательной защитой блоками неповрежденных областей мозга (опция). В настоящее время развивается метод стереотаксической радиотерапии, при которой проводится стереотаксическое фракционированное облучение внутричерепных мишеней. Метод используется при облучении мишеней относительно большого объема (более 3 см в диаметре) при которых

невозможно выполнение радиохирургического лечения), часто соприкасающихся с критическими структурами (опция). [3, 4]

Мультимодальная терапия онкологических больных предусматривает использование современных методов в сочетании с радиомодифицирующими воздействиями: гипертермия, гипербарическая оксигенация, электрон–акценторные соединения, гипоксическая гипоксия и др. [5]

#### **1.1.2.1. Гипертермия**

Согласно современной точке зрения, универсальным и наиболее эффективным модификатором радио– и химиотерапии, способным повысить их эффективность в 1,5 – 2,5 раза, является гипертермия. [6]

Гипертермия (также называемая термической терапией или термотерапией) – это тип лечения рака, при котором ткань тела подвергается воздействию высоких температур (до 44 °C). Исследования показали, что высокие температуры могут повредить и разрушить раковые клетки, обычно с минимальным повреждением нормальных тканей. Путем разрушения раковых клеток и повреждения белков и структур в клетках гипертермия может уменьшить опухоли. [7]

Повышая температуру в злокачественном новообразовании, врачи добиваются того, что опухолевые клетки становятся более чувствительными к стандартным методам лечения онкологических заболеваний – химиотерапии и лучевой терапии. Такая методика, получившая признание за последние годы и ставшая в отношении некоторых онкологических заболеваний почти стандартной процедурой и называется гипертермией. Ее следует отличать от высокочастотной и лазерной (лазериндуцированной) термотерапии. Последняя заключается в том, что с помощью оптоволоконного волновода, пропускаемого сквозь полую иглу, внедренную в опухоль, к очагу поражения подводится лазерное излучение. В случае высокочастотной термотерапии в опухоль вводят игольчатые электроды. В результате разогрева до 100 °C злокачественная ткань коагулируется. Однако данную процедуру можно с определенными оговорками рассматривать как гипертермию, поскольку на некотором

расстоянии, например, от торца волновода опухоль нагревается гораздо меньше – и именно это и приводит в основном к лечебному эффекту (термотерапия, как правило, используется для лечения рака печени и печеночных метастазов. [8]

### **1.1.2.2. Принцип действия гипертермии**

В отличие от здоровой ткани, раковые клетки плохо отводят тепло из-за их недостаточные кровоснабжения. Это связано с тем, что у опухолевых клеток другой обмен веществ и их кровоснабжение отличается от кровоснабжения здоровых клеток.

В раковых клетках происходит скопление тепла, что приводит к недостаточному поступлению кислорода и обеднению питательных веществ в опухоли. Это, в свою очередь, ведёт к нарушению метаболических процессов деления клеток и поддержания их жизнедеятельности, в том числе повреждению систем репарации клеток. Таким образом, термически изменённые компоненты клеток (т.е. те компоненты клеток, которые повреждены гипертермией) не могут быть заменены, что может привести к гибели раковых клеток. [9]

Более того, результаты исследований свидетельствуют о том, что, когда раковые клетки нагреваются до температуры примерно 42<sup>0</sup>С, они создают особые белковые структуры на поверхности клеток, чего не происходит в здоровых клетках. Эти белковые структуры (известные также как белки теплового шока) иммунная система организма воспринимает как чужеродные, и иммунная система разрушает их.

Гипертермия действует в двух направлениях: с одной стороны, происходит тепловое разрушение, а с другой – стимулируется иммунная система организма. [10]

ЛТ эффективно действует на раковые клетки с высоким содержанием кислорода, расположенные поблизости от капиллярных сосудов. Чем дальше от кровеносных сосудов находится опухоль и чем меньше в ней содержание кислорода, тем менее она подвержена эффекту облучения. Гипертермия повышает температуру тканей вне зависимости от того, как далеко от

кровеносных сосудов они расположены, тем самым усиливая эффект лучевой терапии.

Клинические исследования показали, что гипертермия увеличивает способность раковых клеток впитывать лекарственные препараты, таким образом, усиливая эффект химиотерапии.

Гипертермия улучшает микросреду раковых опухолей и прилегающих тканей и увеличивает противораковую активность иммунной системы (Т-лимфоцитов, дендритных клеток).

### **1.1.2.3. Механизм воздействия**

Механизм воздействия высоких температур на опухоль во многом неясен. Однако в общих чертах суммарный лечебный эффект может являться следствием следующих моментов. Во-первых, одни части опухоли имеют хорошее кровоснабжение и туда проникают химиотерапевтические препараты, другие – плохо, и в этих частях опухоли на клетки разрушительно действует высокая температура, препятствуя митозу, клеточному делению. Отсюда синергический эффект сочетанного применения двух процедур: химиотерапии и гипертермии. Следует также добавить, что при повышенной температуре расширяются сосуды, усиливаются обменные процессы, и злокачественные клетки в больших количествах поглощают химиопрепараты.

Что касается лучевой терапии, то и в этом случае на те участки опухоли, где плохо развита сосудистая сеть, слабо воздействует излучение, поскольку для радиологического эффекта необходимо присутствие кислорода. Здесь также воздействует тепло как само по себе, так и расширение сосудов увеличивает приток кислорода и усиливает эффект излучения. Далее, замечено, что на одних фазах митоза больше препятствует ему излучение, а на других – высокая температура, что также способствует синергическому лечебному эффекту. Гипертермия, к тому же, снижает способность клетки восстанавливать повреждения, нанесенные излучением. Для этого достаточно повысить температуру клетки до 40 – 42<sup>0</sup>С. [11]

Еще одним механизмом воздействия высокой температуры (в интервале 41 – 43<sup>0</sup>С, длительно или повторно) на опухоль является выброс так называемых белков теплового шока. Эти белки представляют собой сигнальные протеины, они мобилизуют иммунную систему организма и «приказывают» клеткам–киллерам уничтожить клетки опухоли, пережившие «тепловой удар». [9]

Резюмируя, можно сказать, что повышенная температура ослабляет защитные функции клетки, и та становится более восприимчива к внешнему воздействию – химическому и лучевому. Отсюда, значение гипертермии как модификатора стандартной противоопухолевой терапии. Есть все основания полагать, что в ближайшие годы гипертермия станет четвертым стандартным методом, четвертым из «столпов», на которых держится лечение онкологических заболеваний, наряду с хирургией, химиотерапией и лучевой терапией.

### **1.1.3. Виды гипертермии**

В настоящее время известны следующие виды и методы гипертермии: [12]

*Локальная:*

- неинвазивная (дистанционная, контактная), осуществляемая горячими источниками (вода, воздух, парафин и др.), микроволнами (433, 460, 2450 мГц), радиочастотными (5 – 150 мГц), ультразвуковыми, световыми излучениями;
- инвазивная (внутритканевая), осуществляемая электрическими иглами, микроволнами, ультразвуком и др.;
- внутрисполостная, осуществляемая перфузией, антеннами–тубусами, излучающими электромагнитные волны различного диапазона.

*Региональная*, осуществляемая экстракорпоральной перфузией, токами ультра– и высокой частоты.

*Общая*, проводимая с помощью горячих источников (ванны, водоструйные установки, скафандры, обертывания парафином, инфракрасного излучения), экстракорпоральной перфузии, электромагнитных излучений высокочастотного (13,56 мГц) диапазона.

Магнитная гипертермия – метод локального нагревания ткани до температуры порядка 42 – 46 °С с помощью магнитных частиц, подвергаемых воздействию внешнего магнитного поля.

Суть метода заключается в фокусировке рассеянных в организме магнитных наночастиц в области опухолевой ткани или введении в опухоль и последующем их нагреве с помощью магнитного поля достаточной силы и определенной частоты. Магнитные наночастицы трансформируют энергию переменного магнитного поля в тепло и таким образом вызывают нагревание ткани в месте своего нахождения. Параметры магнитного поля определяются свойствами и размерами наночастиц, а также морфофункциональными характеристиками опухолей. [13]

## **1.2 Измерение электрические свойства материала**

### **1.2.1 Метод измерения электропроводности**

Электрическая проводимость – это мера количества электрического тока, которое может переносить материал, или его способности переносить ток. Электропроводность также известна как удельная проводимость. Проводимость является неотъемлемым свойством материала.

Единицей электропроводности СИ является сименс (См). Проводимость – это инверсия удельного сопротивления. Проводимость  $\sigma$  задается в терминах плотности тока  $J$  и напряженности электрического поля  $E$ , используя выражение:

$$J = \sigma E \quad (1)$$

Материалы высокой проводимости включают металлы, особенно медь и серебро. Серебро на самом деле имеет самую высокую электропроводность, но слишком дорого для общего использования. Медь – следующий лучший выбор. Золото также является хорошим проводником, хотя и не таким хорошим, как медь, но более дорогим, чем серебро. Алюминий часто используется для воздушных линий электропередачи, поскольку он является разумным проводником, но имеет преимущество в том, что он имеет легкий вес.

С другой стороны, воздух является отличным изолятором, как и большинство пластмасс, керамики и стекла. Воздух в конечном итоге разрушается и ионизируется, если имеется достаточная разность потенциалов. Влажный воздух имеет высокую проводимость и может быть слышен вблизи высоковольтных линий электропередач.

Чистая вода имеет довольно низкую проводимость, но присутствие ионов увеличивает ее проводимость. Сухие материалы, такие как строительные материалы (древесина, кирпич, штукатурка), будут иметь низкую проводимость. Наличие влаги может быть обнаружено путем измерения его проводимости, и этот принцип используется в приборах сюрвейера для обнаружения влажности в зданиях. Электропроводность человеческого тела также может быть измерена и в основном объясняется количеством потоотделения вблизи электродов.

Электропроводность раствора можно определить путем измерения активного сопротивления между погруженными в него электродами. Для измерения сопротивления пользуются переменным током, так как постоянный ток вызывает разложение раствора и поляризацию электродов.

В простом мосте Уитстона, показан на рисунке 1.а, используемом для измерения сопротивления при постоянном токе, ток не течет через гальванометр в момент равновесия, следовательно, потенциалы точек А и В одинаковы, откуда  $R_1/R_2 = R_3/R_4$ . При использовании переменного тока, показан на рисунке 1.б, батарея заменена источником синусоидального напряжения, а гальванометр соответствующим индикатором. Условия равновесия (т. е. отсутствие сигнала на индикаторе) заключаются в том, что потенциалы точек А и В имеют одинаковые амплитуды и их фазы совпадают, что приводит к соотношению  $Z_1/Z_2 = Z_3/Z_4$ , где импеданс  $Z$  в случае переменного тока играет ту же роль, что и сопротивление в случае постоянного тока.

Импеданс удобно представить, как комплексную величину. Чисто активное сопротивление имеет импеданс  $Z = R$ , который является действительной величиной. Идеальный конденсатор емкости  $C$  имеет импеданс

$$Z = \frac{1}{j\omega C} \quad (2)$$

где  $\omega$  – угловая частота, а  $j$  – оператор, равный  $\sqrt{-1}$ , соответствующий смещению фаз между током и напряжением на  $90^\circ$ . Чистая индуктивность  $L$  имеет импеданс

$$Z = j\omega L \quad (3)$$

Представление импедансов в комплексной форме удобно, так как равенство двух импедансов требует равенства как действительных, так и мнимых частей, благодаря чему амплитуды и фазы в любой части цепи переменного тока в принципе могут быть рассчитаны методами, формально аналогичными методам, применяемым в случае постоянного тока.

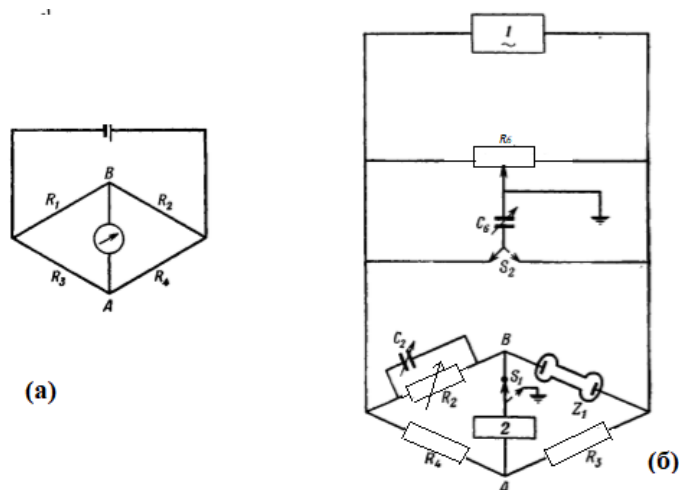


Рисунок 1 – (а) Схема моста Уитстона, (б) Схема моста переменного тока для измерения электропроводности. 1– генератор, 2– индикатор равновесия. [16]

### 1.2.2 Метод измерения диэлектрической проницаемости

Диэлектрическая проницаемость – также называемая электрической диэлектрической проницаемостью, является постоянной пропорциональности, которая существует между электрическим смещением и напряженностью электрического поля. Эта константа равна примерно  $8,85 \times 10^{-12}$  фарада на метр (Ф/м) в свободном пространстве (вакуум). В других материалах она значительно меняется. В инженерных приложениях диэлектрическая проницаемость часто выражается в относительных, а не в абсолютных



терминах. Если  $\epsilon_0$  представляет собой диэлектрическую проницаемость свободного пространства, а  $\epsilon$  представляет собой диэлектрическую проницаемость рассматриваемого вещества (также указанную в фарадах на метр), то относительная диэлектрическая проницаемость, также называемая диэлектрической постоянной  $\epsilon_r$ , дается:

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0 \quad (4)$$

Различные вещества имеют диэлектрические постоянные, превышающие 1. Эти вещества обычно называют диэлектрическими материалами или просто диэлектриками. Обычно используемые диэлектрики включают стекло, бумагу, слюду, различную керамику, полиэтилен и некоторые оксиды металлов. Диэлектрики используются в конденсаторах и линиях передачи переменного тока, звуковой частоты и радиочастотных приложениях.

Для измерения диэлектрической проницаемости можно использовать метод контактного электрода. Этим методом определяет диэлектрическую проницаемость, измеряя емкость электродов, непосредственно контактирующих с испытываемым материалом. Тогда диэлектрическая проницаемость и тангенс потерь вычисляются с использованием специальных уравнений. На рисунке 2 представлен способ контактного электрода.

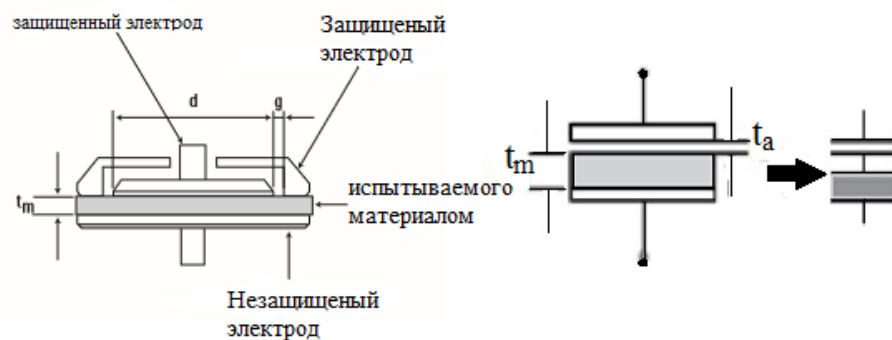


Рисунок 2 – Метод контактного электрода

Эти величины рассчитываются с использованием следующих формул:

$$\epsilon_r = \frac{t_m \cdot C_p}{A \cdot \epsilon_0} = \frac{t_m \cdot C_p}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \epsilon_0} ; \quad (5)$$

$$\tan \delta = D$$

где,  $C_p$ – Эквивалентная параллельная емкость испытательного материала [Ф]

$D$ – Коэффициент рассеяния (измеренное значение)

$t_m$ – Средняя толщина испытательного материала [м]

$A$ – Площадь поверхности защищенного электрода [м<sup>2</sup>]

$d$ – Диаметр защищенного электрода [м]

$\epsilon_0$  –Проницаемость свободного пространства =  $8,854 \times 10^{-12}$  [Ф / м]

[17]

Метод контактного электрода не требует тщательной подготовки и измерения материала. Поэтому он является наиболее широко используемым методом. Однако при использовании этого метода может возникнуть значительная ошибка измерения, если воздушный зазор и его эффекты не учитываются.

При непосредственном контакте испытательного материала с электродами между испытательными материалами и электродами образуется воздушный зазор независимо от того, насколько плоские и параллельные обе стороны испытательного материала. Этот воздушный зазор является причиной ошибки измерения, поскольку измеренная емкость будет последовательным соединением емкости диэлектрического материала и воздушного зазора. Ошибка измерения зависит от относительной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon_r'$ ) испытательного материала, толщины испытательного материала ( $t_m$ ) и толщины воздушного зазора ( $t_a$ ). [18]

## 2. Прибор для измерения электрических свойств материалов

Так как нагрев тканей происходит за счёт электромагнитного поля то основными свойствами материала являются диэлектрическая проницаемость и электропроводность. Для определения этих параметров необходимо купить дорогостоящие приборы, цена которых достигает до 1 миллионов рублей.

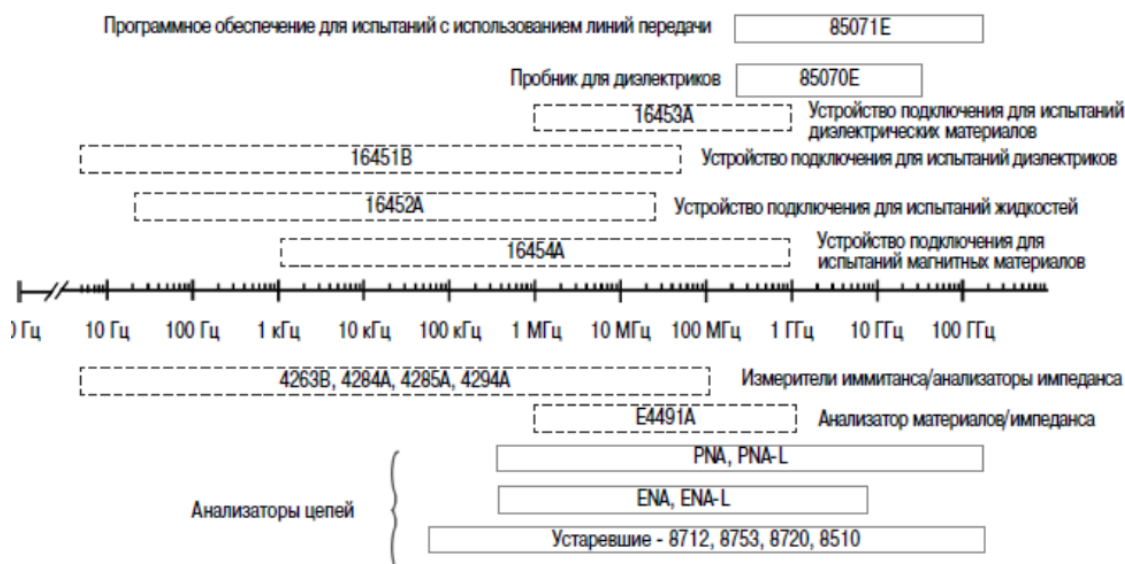


Рисунок 3 – Приборы и устройства для измерения электрических свойств тканеэквивалентных материалов

Из-за дороговизны прибора было принято решение изготовить более дешевую версию.

### 2.1 Структурная схема прибора

В основе прибора для измерения электрических свойств тканеэквивалентных материалов лежит схема для измерения импеданса. Структурная схема прибора представлена на рисунке 4, которая включает в себя генератор сигнала (синусоида), источник тока, два одинаковых инструментальных усилителя, фазовый детектор и микроконтроллер. [19]

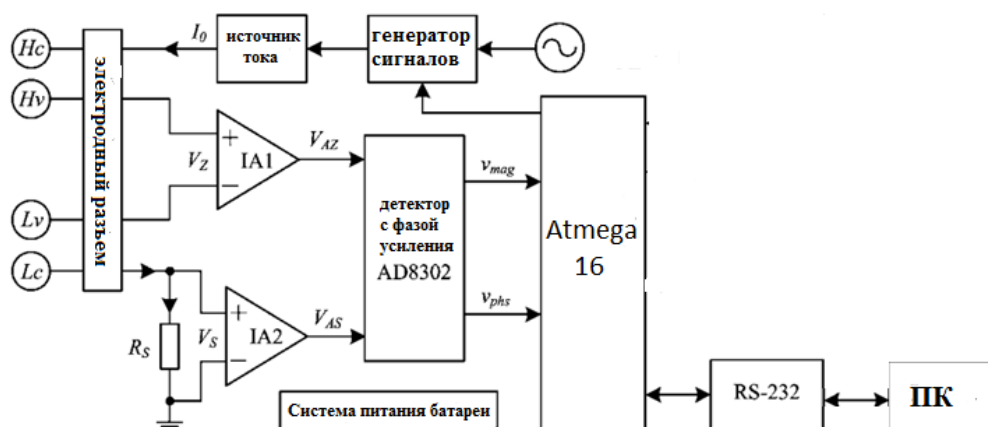


Рисунок 4 – Структурная схема биоимпедансного спектрометра.

Необходимый диапазон частоты задается на компьютере и через микроконтроллер передается на генератор синусоидального сигнала. Далее сигнал проходит через источник тока. Источник тока генерирует выходной ток, пропорциональный входному напряжению, так что ток нагрузки остается постоянным при различных нагрузочных сопротивлениях. Далее сигнал проходит через ткани. Измерения проводились с помощью четырехпроводной схемы измерения. В четырехпроводной схеме измерительный ток течет через одну пару проводов это  $L_c$  и  $H_c$ , а напряжение измеряется на другой паре  $L_v$  и  $H_v$ , через которую ток практически не течет, т.е. нет тока, нет и его падения на проводах и контактах. Поэтому паразитное сопротивление проводов и контактов на результаты измерений практически не влияет. Значение напряжение снимается с электродов  $L_v$  и  $H_v$  и затем передается на фазовый детектор. Значение тока снимали с  $L_c$  и  $H_c$  части сопротивление  $R_s$ , которое соединено последовательно с образцом ткани и помогает отследить изменения тока по величине и фазе и затем передается так же на фазовый детектор.

Таблица 1 – Краткое описание спецификаций устройства биоимпедансного спектрометра

Параметр	Диапазон
Частота	100 кГц до 14 МГц
Импеданс	9Ω до 5,7 кΩ
Фаза импеданса	0° до 180°

### 2.1.1 Генератор синусоидального сигнала и источник тока

Схема для генерации источника возбуждения включает в себя генератор синусоидального сигнала, источник тока с регулируемым напряжением и опорное сопротивление  $R_S$ . Генератор синусоидального сигнала основан на микросхеме AD9833 [20] которая представляет собой программируемый генератор сигналов с низким потреблением тока и может генерировать сигнал синусоидальной формы. Выходная частота и фаза программируется с помощью внешнего микроконтроллера. Частота выходного сигнала определяется числом в 28 – битовом частотном регистре  $FREQ$  с использованием следующего уравнения:

$$f_{OUT} = \frac{f_{CODE}}{2^{28}} f_{CLOCK} \quad (6)$$

где  $f_{CODE}$  – это значение из регистра  $FREQ$ , а  $f_{CLOCK}$  – частота источника синхронизации

Источник тока генерирует выходной ток, пропорциональный входному напряжению. Источник тока был разработан на операционном усилителе AD844. [21]

На рисунке 5 показан учебный источник тока. Если резисторы подобраны таким образом, что выполняется соотношение  $R_3 / R_2 = R_4 / R_1$ , то можно показать, что справедливо равенство:  $I_H = -U_{ВХ} / R_2$ .

Эта схема всем хороша, кроме одного – резисторы должны быть точно согласованы. Определенные ограничения накладывает коэффициент КОСС операционного усилителя. При больших выходных токах резисторы должны быть небольшими, тем самым ограничивается выходной диапазон. Кроме того, на высоких частотах выходной импеданс может существенно уменьшаться – от требуемого бесконечного значения до всего лишь нескольких сотен ом (что соответствует выходному импедансу ОУ с разомкнутой обратной связью). Хотя эта схема и хороша с виду на практике ее используют редко.

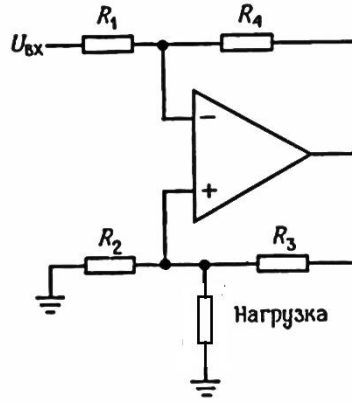


Рисунок 5 – Схема источника тока Хауленда [22]

На рисунке 6, выходное напряжение на каждой стороне нагрузки может быть рассчитано в соответствии с уравнением (7) и (8), где  $I_{N1}$  и  $I_{N2}$  являются токами короткого замыкания и  $Z_{N1}$ , и  $Z_{N2}$  представляют выходной импеданс каждой стороны цепи.

$$U_{\text{вых1}} = \frac{I_{N1} \cdot Z_{N2} \cdot Z_{N2} - I_{N2} \cdot Z_{N2} \cdot (Z_L + Z_{N1})}{Z_L + Z_{N1} + Z_{N2}}, \quad (7)$$

$$U_{\text{вых2}} = \frac{I_{N1} \cdot Z_{N1} \cdot (Z_L + Z_{N2}) - I_{N2} \cdot Z_{N2} \cdot Z_{N1}}{Z_L + Z_{N1} + Z_{N2}} \quad (8)$$

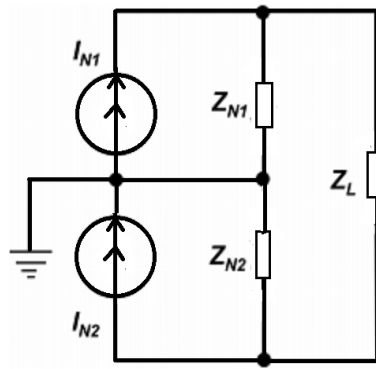


Рисунок 6 – Эквивалентная схема Нортон для источника тока Хауленда. [23]

Выходной ток  $I_L$  в нагрузке может быть вычислен в соответствии с уравнением (9). В результате,  $U_{\text{диф}}$  дифференциальное выходное напряжение можно рассчитать по уравнению (10).

$$I_L = \frac{I_{N1} \cdot Z_1 + I_{N2} \cdot Z_{N2}}{Z_L + Z_{N1} + Z_{N2}}, \quad (9)$$

$$U_{\text{Диф}} = \frac{(I_{N1} - I_{N2}) \cdot Z_{N1} \cdot Z_{N2} + (U_{N1} - U_{N2}) \cdot Z_L / 2}{Z_L + Z_{N1} + Z_{N2}} \quad (10)$$

Где  $U_{N1} = Z_{N1} \cdot I_{N1}$  и  $U_{N2} = Z_{N2} \cdot I_{N2}$ .

Важно отметить, что если выходные импедансы  $Z_{N1}$  и  $Z_{N2}$  имеют высокие значения, то ожидается, что разница  $Z_{N1} - Z_{N2}$  будет очень мала, тогда как сумма  $Z_{N1} + Z_{N2}$  быть очень высокой. Из формулы (10) следует, что дифференциальное напряжение  $U_{\text{диф}}$  сводится к произведению между  $(I_{N1} - I_{N2})$  и  $Z_{N1,2}$ . Разница в величине 1% в  $I_{N1}$  или  $I_{N2}$  может дублировать напряжение в одном из терминалов нагрузки. Это объясняется тем, что каждая сторона источника тока пытается зафиксировать выходной ток на заданное значение. [23]

### 2.1.2 Инструментальные усилители

$IA_1$  и  $IA_2$  – показанные на рисунке 4, представляют собой два одинаковых операционных усилителя INA116 [24], которые имеют высокий входной импеданс и широкую полосу пропускания частот. Коэффициент усиления  $IA_1$  и  $IA_2$  равен 4 с резистором усиления  $R_S = 2\text{k}\Omega$ .

### 2.2 Фазовый детектор

Ключевым компонентом устройства является микросхема AD8302 [24], которая представляет собой полностью интегрированную систему для измерения коэффициента усиления или потерь в диапазоне  $\pm 30$  дБ, и в диапазоне фазы от 0 до  $180^\circ$ . Рисунок 7 показывает, как происходит соединение фазового детектора на основе AD8302 [24], с основной схемой биоимпедансного спектрометра. Общая схема состоит из двух частей: части А и части В.

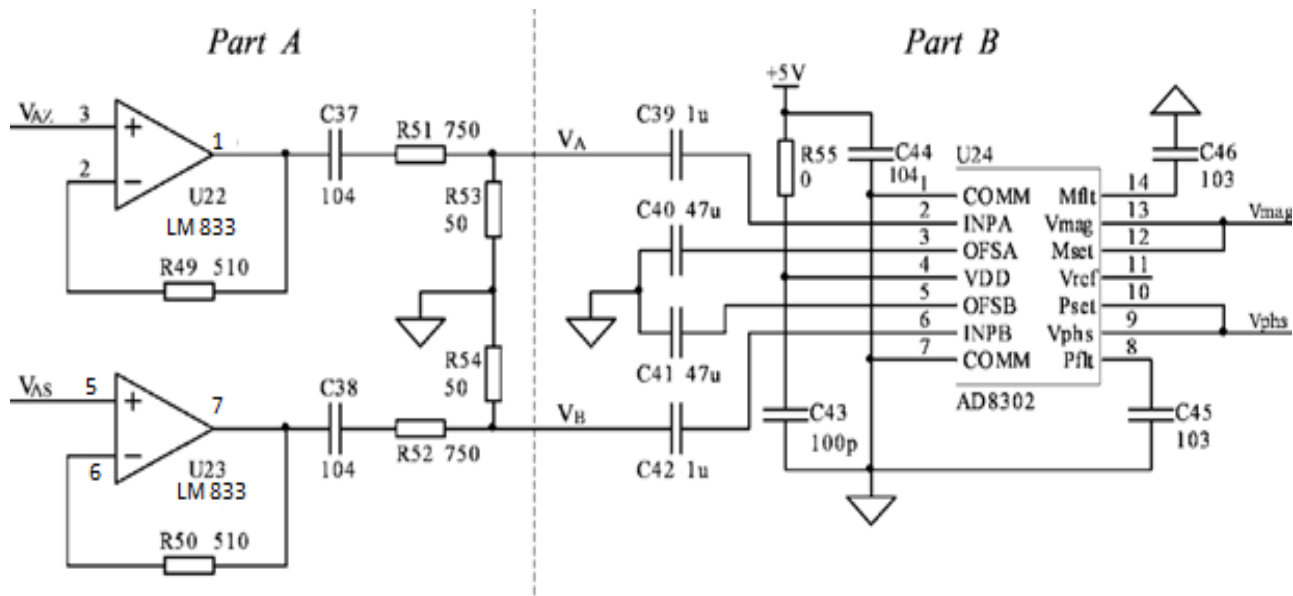


Рисунок 7 – Структурная схема фазового детектора на базе AD8302

### 2.2.1 Входной буфер

Для согласования  $50\Omega$  входного импеданса AD8302 [24], необходимы входные буферы перед усиленными сигналами  $V_{AZ}$  и  $V_{AS}$  (от измерительного усилителя  $INA_1$  или  $INA_2$  [25] показанные на рисунке 4. В нашем устройстве два идентичных входных буфера построены с использованием двух высокоскоростных усилителей с низким выходным импедансом LM833 [26], как показано в левой части рисунка 7. Каждый входной буфер состоит из буфера единичного усиления и аттенюатора напряжения с  $750\Omega$  резистором и  $50\Omega$  резистором.

Входные буферы вместе с несколькими другими факторами определяют диапазон измерения импеданса. Согласно исследованию Фейса, удельное сопротивление большинства тканей человека (кроме жира и кости) колеблется от  $150\Omega$  до  $675\Omega$  см в частотном диапазоне от 100 Гц до 10 МГц, тогда как значение полного сопротивления всего тела изменяется от 200 до  $800\Omega$ , и обычно находится в районе  $500\Omega$ . Следовательно, импедансные устройства с доступным диапазоном измерения от нескольких Ом до нескольких кОм в большинстве случаев являются достаточными для локального измерения. В



нашем приборе диапазон измерения импеданса составляет от  $9\Omega$  до  $5.7\text{ k}\Omega$ , которые оцениваются по следующим уравнениям [19]:

$$\begin{cases} Z_{Xmin} = \frac{316 (\mu V)}{A.G.I_0 (\mu A)} (\Omega) \\ Z_{Xmax} = \min \left\{ \frac{V_{Omax(mV)}}{G.I_0(\mu A)}, \frac{316 (\mu V)}{A.G.I_0(\mu A)} \right\} (k\Omega) \end{cases} \quad (11)$$

где

$A$  – обозначает коэффициент усиления, который может быть рассчитан с помощью формулы  $R_{53} / (R_{51} + R_{53})$ ,

$G$  – коэффициент усиления усилителя  $Z_X$  в  $IA_1$ ,

$I_0$  – амплитуда тока возбуждения,

$V_{Omax}$  – амплитуда выходного напряжения  $IA_1$ .

### 2.2.2 Микросхема AD8302

AD8302 содержит фазовый детектор и согласованную пару логарифмических усилителей. Он сравнивает два входных сигнала  $V_A$  и  $V_B$  – показано на рисунке 7, и генерирует два выходных напряжения:  $V_{mag}$  и  $V_{phs}$ , которые могут быть выражены как:

$$\begin{cases} v_{mag} = \alpha_1 \cdot \log \left( \frac{|V_A|}{|V_B|} \right) + 900mV \\ v_{phs} = \alpha_2 \cdot (|\theta_A - \theta_B| - 90^0) + 900 mV \end{cases} \quad (12)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  являются двумя коэффициентами:  $\alpha_1 = 600\text{ мВ / декада}$  (или  $30\text{ мВ дБ}^{-1}$ ),  $\alpha_2 = -10\text{ мВ / градус}$ . Поскольку два входных буфера и аттенюатора построены одинаково, отношение  $V_Z$  к  $V_S$  равно отношению  $V_{AZ}$  к  $V_{AS}$ . Следовательно, отношение величин  $|K| = \frac{|V_{AZ}|}{|V_{AS}|}$  и разности фаз  $\theta = (\theta_{AZ} - \theta_{AS})$  можно представить в виде:

$$\begin{cases} |K| = \frac{|V_{AZ}|}{|V_{AS}|} = \frac{|V_A|}{|V_B|} = 10^{\frac{v_{mag}-900mV}{600mV}} \\ \theta = \theta_A - \theta_B = \pm \left( \frac{900mV-v_{phs}}{10mV/\text{градус}} + 90^0 \right) \end{cases} \quad (13)$$

Однако AD8302 имеет недостаток. Микросхема не различает положительные и отрицательные разности фаз (спецификация AD8302 2002). Но такая двусмысленность не является недостатком в нашем приложении,

потому что импеданс ткани всегда емкостной. Следовательно, формула для расчёта фазы в уравнении (13) может быть упрощена как:

$$\theta = - \left( \frac{900mV - v_{phs}}{10 mV/\text{градус}} + 90^0 \right) \quad (14)$$

Поэтому согласно (13) и (14) комплексный импеданс  $Z_m$ , может быть рассчитан по формуле:

$$\begin{cases} |Z_m| = R_S \cdot 10^{\frac{v_{mag} - 900mV}{600 mV}} \\ \theta = - \left( \frac{900mV - v_{phs}}{10 mV/\text{градус}} + 90^0 \right) \end{cases} \quad (15)$$

где  $R_S = 200\Omega$  (раздел 3.2).

### 2.3. Atmega16

АТmega16 предоставляет следующие возможности: 16 Кбайт встроенной программируемой флэш-памяти программ с возможностями чтения-записи, 512-байтовый EEPROM, 1 Кбайт SRAM, 32 линии ввода-вывода общего назначения, 32 выходных линии общего назначения, интерфейс JTAG, поддержка и программирование встроенной отладки, три гибких таймера / счетчика с режимами сравнения, внутренние и внешние прерывания, последовательный программируемый USART, байтовый двухпроводный последовательный интерфейс, 8-канальный 10-разрядный АЦП с дифференциальным входным каскадом с программируемым усилением (только пакет TQFP), программируемый сторожевой таймер с внутренним генератором, последовательный порт SPI и шесть программных режимов энергосбережения. Режим Idle останавливает CPU, позволяя продолжить работу USART, двухпроводного интерфейса, аналого-цифрового преобразователя, SRAM, таймера / счетчиков, SPI-порта и прерывания. Режим выключения сохраняет содержимое регистра, но замораживает осциллятор, отключая все остальные функции чипа до следующего внешнего прерывания или сброса оборудования. В режиме энергосбережения асинхронный таймер продолжает работать, позволяя пользователю поддерживать работу таймера, пока остальная часть устройства отключена. Режим уменьшения шума АЦП останавливает CPU и все модули ввода / вывода, кроме асинхронного таймера и АЦП, чтобы

минимизировать шумы коммутации при конверсиях АЦП. В режиме ожидания кристалл резонатора работает, пока остальная часть устройства спала. Это позволяет очень быстро запускать в сочетании с низким энергопотреблением. В расширенном режиме ожидания продолжают работать как основной осциллятор, так и асинхронный таймер. Устройство изготовлено с использованием технологии энергонезависимой памяти Atmel с высокой плотностью. Onchip ISP Flash позволяет перепрограммировать память через последовательный интерфейс SPI, обычным энергонезависимым программным обеспечением памяти или программой загрузки на чипе, работающей на ядре AVR. Программа загрузки может использовать любой интерфейс для загрузки прикладной программы в флэш-память приложения. Программное обеспечение в разделе Boot Flash будет продолжать работать, пока обновляется раздел Application Flash, обеспечивая настоящую операцию Read-While-Write. Комбинируя 8-битный RISC-процессор с самопрограммируемой Flash In-System на монолитном чипе, Atmel ATmega16 является мощным микроконтроллером, который обеспечивает гибкое и экономичное решение для многих встроенных приложений управления. [27]

## 2.4 Проверка прибора на работоспособность

Для проверки прибора был использован резистор с сопротивлением 510 Ом. Сопротивление резистора измеряли в 20 точках в диапазоне частот от 10кГц –14МГц. Полученные результаты представлены на рисунке 8.

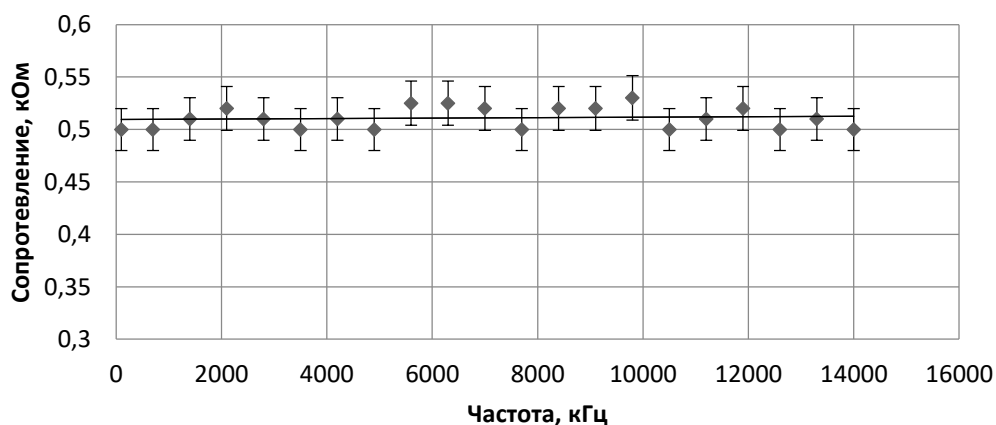


Рисунок 8 – Зависимость сопротивления от частоты.

Далее схему проверили с помощью моделирования сопротивления тканей, показана на рисунке 9.

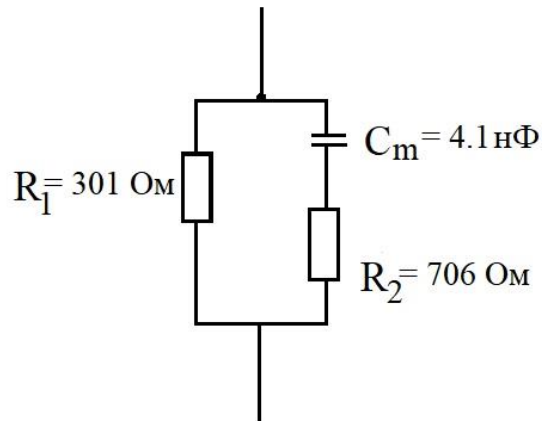


Рисунок 9 – Схема моделирующая сопротивление тканей

Сначала произвели теоретический расчет характеристической частоты  $f_c$  при которой фаза  $\theta$  достигает своего пика  $\theta_{peak}$ . используется следующая формула:

$$\begin{cases} f_c = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2^2}} \\ \theta_{peak} = -\arctan\left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_2^2}{R_1(R_1 + R_2)}}\right) \end{cases} \quad (16)$$

Результаты расчета по формуле (16) получились следующие  $f_c = 100 \text{ кГц}$   
 $\theta_{peak} = -32,6^\circ$ .

Далее были произведены измерения частотной зависимости схемы 2R1C в диапазоне частот 100Гц–1МГц. Результаты измерения представлены на рисунке 10.

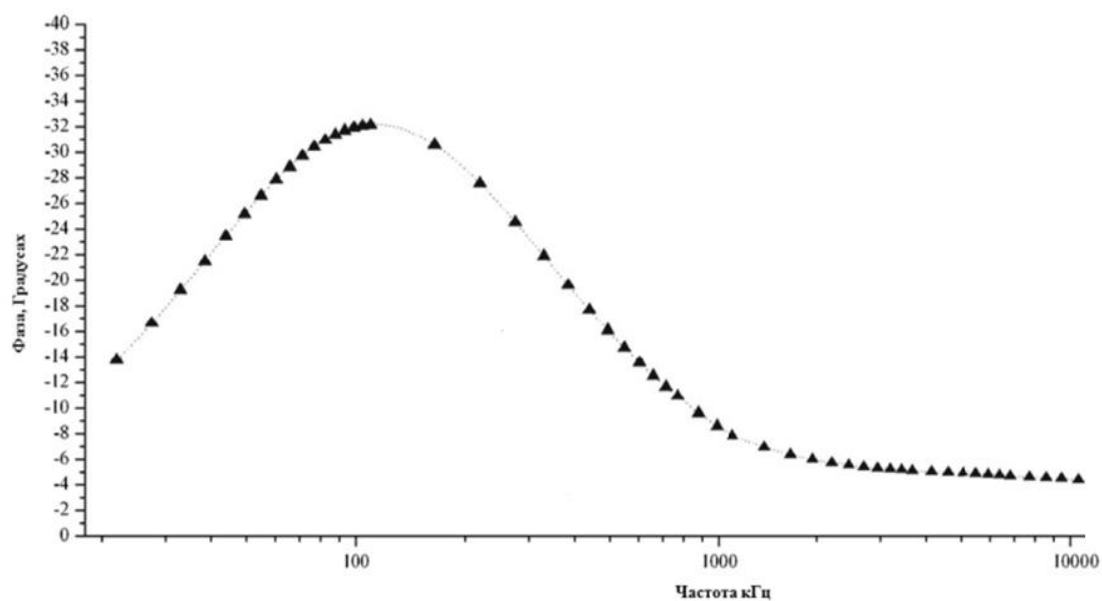


Рисунок 10 – Зависимость фазы от частоты

Очевидно, при частоте 100 кГц максимальное значение фазы  $\theta = -32,6^0$ . Полученные результаты совпадают с расчетными данными. Отсюда следует, что прибор позволяет измерять сопротивление ткани в диапазоне частот 10кГц –14МГц.

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Результатом исследования является тканеэквивалентный фантом для проведения термометрии сеансов локальной гипертермии. Для создания материала фантома необходимо было разработать прибор, который позволит измерять электрические свойства материалов.

Для того чтобы узнать эффективность и необходимость прибора для анализа электрических свойства материалов, необходимо оценить его востребованность для этого был проведен соответствующий анализ.

Таблица 5 – Карта сегментирования

		Прибор для анализа электрических свойств материала	
		Исследование диэлектрической проницаемости	Исследование электропроводности
Организация	Учебные заведения		
	Научно–исследовательские учреждения		

#### **5.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

Анализируя конкурентоспособные технические решения с точки зрения эффективности использования ресурсов и ресурсов, можно оценить

сравнительную эффективность научного развития и определить направление для повышения его будущего.

Данный анализ проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 6  $B_{\phi}$  – продукт, который является результатом данной работы,  $B_{k1}$  и  $B_{k2}$  – конкурентные разработки. В качестве конкурентных разработок были приняты:  $B_{k1}$  – WK 6515P, производство компании «Wayne Kerr Electronics (Wayne Kerr)».  $B_{k2}$  – E4990A от компании «Keysight».

Оценочная карта анализа представлена в таблице 6. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (17)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В таблице 6 показал несколько критерии для сравнения, оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Они выбираются на основе объектов сравнения с учетом их технико–экономических характеристик развития, создания и эксплуатации.

Итогом данного анализа, является то что разработанный прибор имеет преимущества перед конкурирующими разработками из–за того, что он имеет чрезвычайно низкие затраты с набором стандартных параметров. Однако есть проблема с выходом на рынок.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,04	5	4	3	0,2	0,16	0,12
2.Повышение производительности труда пользователя	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
3. Надежность	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
4. Безопасность	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
5. Потребность в ресурсах памяти	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
7. Простота эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
8. Качество интеллектуального интерфейса	0,04	3	5	3	0,12	0,2	0,12
9. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,04	5	5	5	0,2	0,2	0,2
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	4	4	3	0,16	0,16	0,12
3. Цена	0,12	5	4	2	0,6	0,48	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
5.Послепродажное обслуживание	0,06	4	4	3	0,24	0,24	0,18
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>61</b>	<b>59</b>	<b>51</b>	<b>4,38</b>	<b>4,15</b>	<b>3,64</b>

### 5.1.3 SWOT–анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – это процесс, который идентифицирует сильные и слабые стороны организации, возможности и угрозы. В частности, SWOT – это базовая аналитическая структура, которая оценивает, что предприятие (как правило, бизнес, хотя оно может использоваться для какого-либо места, промышленности или продукта) может и не может делать, поскольку факторы как внутренние (сильные и слабые стороны), так и внешние (потенциальные возможности и угрозы). Используя



данные об окружающей среде для оценки положения компании, SWOT–анализ определяет, что помогает фирме в достижении ее целей, и какие препятствия необходимо преодолеть или свести к минимуму для достижения желаемых результатов: где организация сегодня и где она может быть расположена в будущее.

Таблица 7– Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны проекта</b></p> <p><b>С1.</b> Простота эксплуатации</p> <p><b>С2.</b> Не сложность обработки результатов.</p> <p><b>С3.</b> Возможность привлечения потребителей</p> <p><b>С4.</b> Предполагаемая рыночная цена разрабатываемых за рубежом прототипов для анализа импеданс на других методах измерения, слишком высока.</p>	<p><b>Слабые стороны проекта</b></p> <p><b>Сл1.</b> Для уменьшения ошибки необходима большая статистика измерений.</p> <p><b>Сл2.</b> Сложность проектирования и проектирования моделей прибора для анализа электрические свойства материалов</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p><b>В1.</b> Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p><b>В2.</b> Сотрудничество с рядом новых организаций.</p> <p><b>В3.</b> Разработка прибора</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»</b></p> <p>1. Простота получения и обработки результатов даст нам возможность</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»</b></p> <p>1. Приоритет конкурентных организаций из–за длительный срок реализации.</p>

<p>для анализа электрических свойств материалов</p> <p><b>В4.</b> Публикации в высокорейтинговых журналах поспособствуют поднятию статуса ВУЗа.</p>	<p>увеличить спрос на наш продукт.</p> <p>2. Надежность и безопасность метода даст возможность установить сотрудничество с рядом новых организаций.</p> <p>3. Исследование актуально и не имеет аналогов.</p>	<p>2. Малая статистика измерений приводит к большой погрешности измерений</p>
<p><b>Угрозы</b></p> <p><b>У1.</b> Высокая конкуренция.</p> <p><b>У2.</b> Отсутствие финансирования со стороны, как университета, так и государства.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»</b></p> <p>1. Необходимо продемонстрировать покупателям простоту устройства и сосредоточиться на переносимости и дешевизне.</p> <p>2. Осуществление анализа материалов дает возможность выхода на рынок.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»</b></p> <p>1. Простота и точность измерений дают преимущество перед конкурентами на рынке.</p> <p>2. Заключение финансовых соглашений с внешними организациями путем демонстрации возможных моделей устройств.</p>

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта			
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	0	+	+	0
	B2	+	+	+	0
	B3	+	+	0	+
	B4	0	0	+	+
		Слабые стороны проекта			
		Сл1		Сл2	
Угрозы проекта	У1	+		0	
	У2	+		+	

## 5.2 Планирование научно–исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Таблица 9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель
	3	Выбор направления исследования	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Анализ литературных источников	Руководитель
	6	Практический расчет	Студент
	7	Корректировка расчетов	Студент
	8	Отчет перед руководителем	Студент
Обобщение и оценка	9	Оценка эффективности полученных	Руководитель

результатов		результатов	Студент
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка блок-схемы, принципиальной схемы	Руководитель, Студент
	11	Выбор и расчет конструкции	Студент
	12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Студент
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	13	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Руководитель, Студент
	14	Лабораторные испытания макета	Руководитель, Студент
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	15	Составление и оформление расчетов	Руководитель, Студент
	16	Определение целесообразности проведения НИР (ОКР)	Студент
	17	Составление пояснительной записки	Руководитель
	18	Подготовка к защите темы	Студент

### 5.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5}, \quad (18)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел. –дн.;

$t_{mini}$ ,  $t_{maxi}$  – соответствуют минимально, максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел. –дн.;

$$\begin{aligned}
 t_{ож1} &= \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} & t_{ож10} &= \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} \\
 &= 1,4, & &= \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 20}{5} = 11, \\
 t_{ож2} &= \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} & t_{ож11} &= \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 6}{5} \\
 &= 1,8, & &= 3,6,
 \end{aligned}$$

$$t_{ож3} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 6}{5} = 3,6,$$

$$t_{ож4} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8,$$

$$t_{ож5} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 7}{5} = 5,8,$$

$$t_{ож6} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8,$$

$$t_{ож7} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8,$$

$$t_{ож8} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8,$$

$$t_{ож9} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 11}{5} = 8,$$

$$t_{ож12} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 5}{5} = 3,2.$$

$$t_{ож13} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 15}{5} = 9,$$

$$t_{ож14} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 9}{5} = 4,8,$$

$$t_{ож15} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 7}{5} = 4,$$

$$t_{ож16} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8,$$

$$t_{ож17} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,4,$$

$$t_{ож18} = \frac{3t_{min.i} + 2t_{max.i}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 10}{5} = 6,4$$

Продолжительность одной работы

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{\mathcal{C}_i}, \quad (19)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. –дн.

$\mathcal{C}_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \text{ кал. дн.} \quad (20)$$

Где  $T_{ki}$ , кал. дн. – продолжительность выполнения  $i$ -й работы;

$T_{pi}$ , раб. дн. – продолжительность выполнения  $i$ -й работы;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} \approx 1,22 \quad (21)$$

Где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

В периоде 2017– 2018 году 66 выходных и праздничных дней. Расчетная величина продолжительности работ  $T_{ki}$  была округлена до целых чисел.

Расчет для первой работы:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 4 \cdot 1,22 = 4,88 \approx 5 \quad (22)$$

Таблица 10 – Временные показатели проведения НИО

$i$	$t_{\min.i}$	$t_{\max.i}$	$t_{\text{ож.}i}$	$\chi_i$	Должность исполнителя	$T_{pi}$	$T_k$
1	1	2	1,4	1	Руководитель	1	1
2	1	3	1,8	1	Руководитель	2	2
3	2	6	3,6	1	Руководитель	4	5
4	3	5	3,8	1	Студент	4	5
5	5	7	5,8	1	Руководитель	6	7
6	2	4	2,8	1	Студент	3	4
7	2	4	2,8	1	Студент	3	4
8	3	5	3,8	1	Студент	4	5
9	6	11	8	2	Руководитель	4	5
					Студент	4	5
10	5	20	11	2	Руководитель	6	7
					Студент	6	7
11	2	6	3,6	1	Студент	4	5

12	2	5	3,2	1	Студент	3	4
13	5	15	9	2	Руководитель	5	6
					Студент	5	6
14	2	9	4,8	2	Руководитель	3	4
					Студент	3	4
15	2	7	4	2	Руководитель	2	2
					Студент	2	2
16	1	3	1,8	1	Студент	2	2
17	1	3	1,4	1	Руководитель	1	1
18	4	10	6,4	1	Студент	6	7

**Таблица 11 – Календарный план–график проведения НИОКР по теме**

№	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub>	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель	2													
3	Выбор направления исследования	Руководитель	5													
4	Календарное планирование работ по теме	Студент	5													
5	Анализ литературных источников	Руководитель	7													
6	Практический расчет	Студент	4													
7	Корректировка расчетов	Студент	4													
8	Отчет перед руководителем	Студент	5													
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	5													
		Студент	5													
10	Разработка блок–схемы, принципиальной схемы	Руководитель	7													
		Студент	7													
11	Выбор и расчет конструкции	Студент	5													
12	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Студент	4													
13	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Руководитель	6													
		Студент	6													
14	Лабораторные испытания макета	Руководитель	4													
		Студент	4													
15	Составление и оформление расчетов	Руководитель	2													
		Студент	2													
16	Определение целесообразности проведения НИР (ОКР)	Студент	2													
17	Составление пояснительной записки	Руководитель	1													
18	Подготовка к защите темы	Студент	7													

### **5.3 Бюджет научно–технического исследования (НТИ)**

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В



процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагенты расходы;
- накладные расходы.

### 5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхi} , \quad (23)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$\Pi_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно–заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями–изготовителями (либо организациями–поставщиками).

Величина коэффициента ( $k_T$ ), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в

пределах 15–25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 12.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Atmega16	шт	1	140	140
AD8032	шт	1	366	366
AD9833	шт	1	352	352
INA116–РА	шт	2	940	1880
LM833	шт	1	27.75	27.75
Резисторы	шт	30	8	240
Конденсатор	шт	16	5	80
Агар	кг	0,1	200	20
Сода	кг	1	16	16
Спирт	л	1	59	59
<b>Итого</b>				<b>2798,06</b>

### 5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Расходы на специальное оборудование:

$$A = \frac{H_A \cdot C \cdot T_0}{365} \quad (24)$$

где А – амортизационные отчисления, руб.;

С – стоимость используемого оборудования, руб.;

Н<sub>А</sub> – годовая норма амортизации;

Т<sub>о</sub> – время использования оборудования, сутки.

$$A = \frac{0,1 \cdot 1067451 \cdot 10}{365} = 2924,5$$

Затраты на оборудование составили 2924,5 рублей.

### 5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (25)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, студента) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (26)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно–техническим работником, раб. дн. (табл. 13);

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (27)$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6–дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно–технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (28)$$

где  $З_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $З_{тс}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15–20 % от  $З_{тс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
— выходные дни	52	52
— праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
— отпуск	48	48
— невыходы по болезни	—	5
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	246

Например, для руководителя расчет основной заработной платы, зная, что его оклад 33664 руб./месяц и районный коэффициент для Томска  $k_p = 1,3$ , проводится следующим образом: находим месячный должностной оклад:

$$З_m = З_{ТС} \cdot k_p = 43763,2 \text{ руб./месяц};$$

Среднедневная заработная плата:

$$З_{дн} = \frac{43763,2 \cdot 10,4}{251} = 1813,3 \text{ руб./день};$$

Основная заработная плата:

$$З_{осн} = 1813,3 \cdot 34 = 61652,2 \text{ руб}$$

Подобный расчет проводится для вычисления основной заработной платы студента и полученный результат–  $З_{осн.ст} = 26641 \text{ руб.}$

$$С_{зп.пр} = З_{осн.рук.} + З_{осн.ст} = 63460 + 26641 = 90101 \text{ руб.}$$

#### 5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды входят обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (29)$$

Где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2018 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212–ФЗ установлен размер страховых взносов равный 27 %.

$$k_{\text{внеб}} = k_{\text{пф}} + k_{\text{с}} + k_{\text{пн}} = 0,27 \quad (30)$$

Где  $k_{\text{пф}}$  – коэф. отчисления в пенсионный фонд;

$k_{\text{с}}$  – коэф. отчисления страховых взносов;

$k_{\text{пн}}$  – коэф. отчисления в подоходный налог.

Таким образом отчисления во внебюджетные фонды от затрат на оплату труда вычисляются следующим образом:

$$З_{\text{внеб}} = 0,27 \cdot 90101 = 24327,27 \text{ руб.}$$

### 5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл}} = Ц_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} \quad (31)$$

Где  $Ц_{\text{эл}}$  – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. /кВтч);

$P$ , кВт – мощность оборудования (ноутбук);

$F_{\text{об}}$ , ч – время использования оборудования.

При выполнении работы использовался ноутбук со средней мощностью 90 Вт (0,09 кВт).

Стоимость потраченной энергии на ноутбук:

$$C_{\text{элн}} = 5,8 \cdot 0,09 \cdot 294 \{49 \text{ рабочих дня} \cdot 6\} = 153,47 \text{ руб.}$$

Стоимость потраченной энергии на паяльное устройство со средней мощностью 40 Вт (0,04 кВт):

$$C_{\text{элп}} = 5,8 \cdot 0,04 \cdot 48 \{8 \text{ рабочих дней} \cdot 6\} = 11,14 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{эл}} = C_{\text{элн}} + C_{\text{элп}} = 153,47 + 11,14 = 161,61 \text{ руб.}$$

### 5.3.6 Формирование бюджета затрат научно–исследовательского проекта

Суммарные затраты на проведение НИОКР сведены в таблицу 14:

Таблица 14 – Расчет плановой себестоимости

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Материальные затраты НТИ	2798,06	Пункт 5.3.1
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	2924,5	Пункт 5.3.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	90101	Пункт 5.3.3
Отчисления во внебюджетные фонды	24327,27	Пункт 5.3.4
Затраты на научные и производственные командировки	-	
Контрагентские расходы	-	
Накладные расходы	161,61	Пункт 5.3.5
Бюджет затрат НТИ	120312,44	

В ходе выполнения экономической части ВКР были проведены расчеты плановой себестоимости проведения НИОКР и время, необходимое на проведение данной работы. Плановая себестоимость работы составляет 120312,44 руб., основная составляющая, которой – заработная плата работников.

### 5.4 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (32)$$

где  $I_{финр}^{испi}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно–исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{104877,44}{212036,78} = 0,49 \quad (33)$$

Для аналога соответственно:

$$I_{финр}^{a1} = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{212036,78}{212036,78} = 1 \quad (34)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (35)$$

Где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 15:

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 (Текущий проект)	Исп.2 (Аналог)
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	4

Помехоустойчивость	0,15	4	5
Энергосбережение	0,20	4	3
Надежность	0,25	4	4
Материалоемкость	0,15	4	4
ИТОГО	1	4,1	3,95

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 4,1,$$

$$I_{p-исп2} = 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,95.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки  $I_{исп.i}$  определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}} = \frac{4,1}{0,49} = 8,37, \quad (36)$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} = \frac{3,95}{1} = 3,95 \quad (37)$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{8,37}{3,95} = 2,12$$

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

Пп/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	0,49	1
2	Интегральный показатель эффективности	8,37	3,95
3	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,12	1

Сравнивая значения интегральных показателей эффективности, можно отметить, что более эффективным вариантом решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является текущий проект.



## **6. Социальная ответственность**

Социальная ответственность является этической основой и предполагает, что организация, будь то организация или физическое лицо, обязана действовать в интересах общества в целом. Социальная ответственность – это обязанность, которую каждый человек должен выполнять, чтобы поддерживать баланс между экономикой и экосистемами. Компромисс может существовать между экономическим развитием, в материальном смысле и благосостоянием общества и окружающей среды, хотя многие из них были отпарированы за последнее десятилетие. Социальная ответственность означает поддержание равновесия между ними. Он относится не только к бизнес–организациям, но и ко всем, чье действие влияет на окружающую среду. Эта ответственность может быть пассивной, избегая участия в общественно опасных действиях или активных действиях, осуществляя деятельность, которая непосредственно продвигает социальные цели. Социальная ответственность должна быть между поколениями, поскольку действия одного поколения имеют последствия для следующих.

Внедрение интегрированной системы управления охраной труда является одним из способов снижения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно–техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно [29], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

## 6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. В таблице 17 приведены основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы:

Таблица 17 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с ПЭВМ, осциллографом, электропаяльником, генератором импульсов, а также источниками высокого напряжения		Электрический ток	Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
			ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
		Пожарная безопасность	Пожарная и взрывная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ.

На работника лаборатории, работа которого связана с разработкой и созданием платы, а также с работой на компьютере, воздействуют следующие факторы:

1. Физические. При работе за паяльным устройством и компьютером на организм работника воздействуют такие факторы производственной среды как температура и влажность воздуха, вентиляция, шум, статическое электричество, электромагнитное поле низкой частоты и освещенность, ионизирующее излучение. При несоответствии данных условий нормированным (регламентированным) значениям производственную среду рассматривают как вредные условия труда. Например, недостаточное

освещение рабочего места отрицательно влияет на зрение работника, при увеличении допустимого уровня шума без защитных средств страдает слуховой аппарат человека, повышенная влажность, так же, как и недостаток влаги в воздухе, приводит к росту вероятности простудных заболеваний.

2. Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы. При любой напряженной работе могут возникать такие вредные производственные факторы, как физические перегрузки (статические, динамические) и нервно–психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки). Последствия физического и психического истощения организма могут повлиять, как на работоспособность человека, так и на состояние здоровья в целом.

## **6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ и за паяльной установкой**

### **6.2.1 Организационные мероприятия**

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Лица, работающие на ПЭВМ, не должны иметь медицинских противопоказаний. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

### **6.2.2 Организация рабочего места**

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что

требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 28:

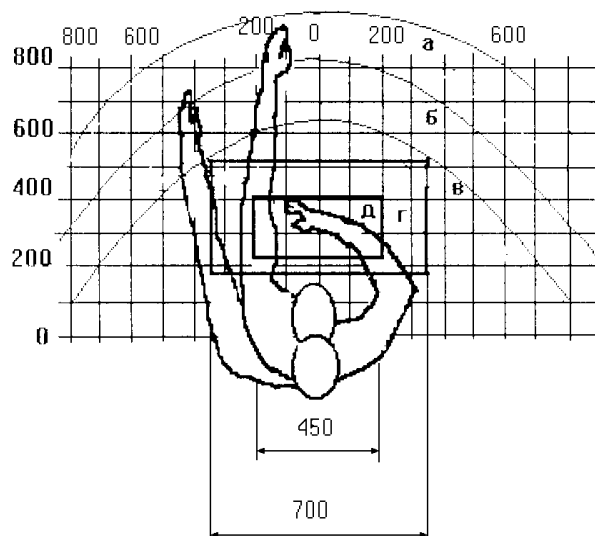


Рисунок 28– Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне, а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); паяльная установка размещается в зоне б (справа); принтер находится в зоне, а (справа); документация: в зоне легкой досягаемости ладони (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680 – 800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не

менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно–поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420 – 550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500 – 600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более  $45^{\circ}$  С к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять  $30^{\circ}$  С. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте  $\pm 3$  см;
- по наклону от  $10$  до  $20^{\circ}$  относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100–300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости  $15^{\circ}$  С. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности,

рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

### 6.2.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [30] и приведены в таблице 18:

Таблица 18 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата.

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23–25	40–60	0,1
Тёплый	23–25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до  $20 \text{ м}^3$  на человека – не менее  $30 \text{ м}^3$  в час на человека; при объёме помещения более  $40 \text{ м}^3$  на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%,

скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – от 20 до 25 °С, зимой – от 13 до 15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеосигнального кабеля. Согласно [30] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот от 2 до 400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот от 2 до 400 кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение

хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [30] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

### **6.3 Электробезопасность**

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими электрическими приборами в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами.

При разработке и создании экспериментальной модели устройства инженер работает с паяльной установкой.

Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей электрических приборов);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и



блоке дисплейной развёртки.

Основными факторами поражения, которые возникают в результате действия электрического тока на человека, являются:

Электрические травмы — местное повреждения тканей организма в результате действием электрического тока или электрической дуги. К электрическим травмам можно отнести такие повреждения как электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения.

Электрические знаки - проявляются на коже человека, который подвергся действию тока, в виде пятен овальной формы серого или бледно желтого цвета. Как правило, безболезненны, затвердевают подобно мозоли, со временем омертвевший слой кожи сходит самостоятельно.

Металлизация кожи - возникает в результате проникновения в верхний слой кожи мелких частиц металла, который оплавился под действием электрической дуги. Кожа в месте поражения становится болезненной, становится жесткой, принимает темный металлический оттенок.

Электроофтальмия – возникает в результате воспаления наружной оболочки глаз под действием ультрафиолетовых лучей электрической дуги. Для защиты необходимо пользоваться защитными очками и масками с цветными стеклами.

Механические повреждения проявляются под действием тока, непроизвольным судорожным сокращением мышц. Это может привести к разрыву кожи, кровеносных сосудов и нервных тканей.

Электрический удар сопровождается возбуждением живых тканей организма током, который через него проходит. В этот момент возникают непроизвольные судорожные сокращения мышц.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок выполняются в следующей последовательности:

- Отключить напряжение с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа.
- Принять меры по обеспечению невозможности подачи напряжения к

месту работы.

- Вывесить плакаты, указывающие место работы.
- Заземлить корпуса всех установок через нулевой провод.
- Покрыть металлические поверхности инструментов надежной изоляцией.

#### **6.4 Пожарная и взрывная безопасность**

Согласно [30], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожар взрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации

работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- Сообщить руководству (дежурному).
- Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС.
- Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

## **Заключение**

В рамках проделанной работы:

1. Была разработана система для определения удельного сопротивления материалов, позволяющая измерять электрические свойства в диапазоне частот 10кГц - 14 МГц.
2. Были разработаны тканеэквивалентные материалы на базе агарового геля эквивалентные нормальным тканям головного мозга, спинномозговой жидкости и опухоли. Результаты измерений удельного сопротивления материалов показали соответствие с литературными данными.
3. Создан гетерогенный фантом головного мозга с элементами опухоли и спинномозговой жидкости.
4. Проведены термометрические измерения сеансов локальной гипертермии в разработанном фантоме головы.
5. Показано, что на границе раздела сред «горячие» зоны не возникают. Уровень нагрева модели опухоли, определенный в работе с учетом охлаждения потоком крови ( $41^{\circ}\text{C} \dots 42^{\circ}\text{C}$ ), является достаточным для проведения гипертермической радиосенсибилизации. Полученный уровень нагрева модели нормальных тканей мозга ( $39^{\circ}\text{C} \dots 40^{\circ}\text{C}$ ) не превышает допустимого.

## Список литературы

1. Корниенко В. Н. Опухоли головного мозга //Вестник РОНЦ им. НН Блохина РАМН. – 2004. – Т. 15. – №. 1-2.
2. Голанов А. В. и др. Современные подходы к лучевому лечению метастатического поражения головного мозга //Злокачественные опухоли. – 2014. – №. 3 (10).
3. Абсалямова, О. В., et al. "Клинические рекомендации по диагностике и лечению больных с первичными опухолями головного мозга. 2014." Москва: Общероссийский союз общественных объединений. Ассоциация онкологов России (2014).
4. Алиев, М. Д., et al. "Клинические рекомендации по диагностике и лечению больных меланомой кожи." Общероссийский союз общественных объединений «Ассоциация онкологов России». Москва–2014 (2014).
5. Канаев, С. В. "Принципы и обоснования химиолучевого лечения злокачественных опухолей." Практическая онкология 9.1 (2008): 1-8.
6. Чойнзонов, Евгений Лхамацыренович, et al. "Современный подход к химиолучевой терапии злокачественных глиом головного мозга." Бюллетень сибирской медицины 13.3 (2014).
7. Улащик, В. С. "Локальная гипертермия в онкологии: использование магнитного поля, лазерного излучения, ультразвука." Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры 91.2 (2014): 48-57.
8. Medplus24.ru- ГИПЕРТЕРМИЯ В ОНКОЛОГИИ [Электронный ресурс]: портал. Режим доступа: <http://www.medplus24.ru/magazine/treatment/572.html> свободный - Загл. с экрана (дата обращения: 8.03.2018).
9. Hahn, George M. Hyperthermia and cancer. Springer Science & Business Media, 2012.
10. Hand, Jeffrey W., et al. Methods of external hyperthermic heating. Springer Science & Business Media, 2012.

11. Engelhardt, R., et al. Hyperthermia and the therapy of malignant tumors. Vol. 104. Springer Science & Business Media, 2012.
12. Фрадкин, С. З. "Современное состояние гипертермической онкологии и тенденции ее развития." Мед. новости 3 (2004): 3-8.
13. Mitsumori, Michihide, et al. "Targeted hyperthermia using dextran magnetite complex: a new treatment modality for liver tumors." Hepato-gastroenterology 43.12 (1996): 1431-1437.
14. The TCS - Tumor Cell Solution by Celsius42. [Электронный ресурс]: портал. Режим доступа: [http://www.celsius42.de/en/product\\_свободный](http://www.celsius42.de/en/product_свободный) - Загл. с экрана (дата обращения: 10.03.2018).
15. Opsen-solutions.com- TempSens multi-channel signal conditioner [Электронный ресурс]: портал. Режим доступа: <https://opsens-solutions.com/products/signal-conditioners-oem-boards/tempsens/> свободный - Загл. с экрана (дата обращения: 10.03.2018).
16. Робинсон, Р., and Р. Стокс. "Растворы электролитов." (1963).
17. Note, Application. "Solutions for measuring permittivity and permeability with LCR meters and impedance analyzers." Agilent Literature Number (2008).
18. Tereshchenko, O. V., Frederik Johannes Karel Buesink, and Frank Bernardus Johannes Leferink. "An overview of the techniques for measuring the dielectric properties of materials." General Assembly and Scientific Symposium, 2011 XXXth URSI. IEEE, 2011.
19. Yang, Yuxiang, et al. "Design and preliminary evaluation of a portable device for the measurement of bioimpedance spectroscopy." Physiological Measurement 27.12 (2006): 1293.
20. AD9833, D. D. S. "Analog Devices Data Sheet." Analog Devices Inc (2003).
21. Datasheet, AD844. "Analog Devices Inc." Norwood, MA (2004).
22. Хорвиц, П., and У. Хилл. "Искусство схемотехники, т. 1 и т. 2." (1986).
23. Bertemes-Filho, Pedro, Alexandre Felipe, and Volney C. Vincence. "High accurate Howland current source: Output constraints analysis." Circuits and Systems 4.07 (2013): 451.

24. Devices, Analog. "AD8302 Datasheet." 2012-1 1—13 (2001).
25. Datasheet, INA326. "Dallas." TX: Texas Instruments Inc (2008).
26. Alldatasheet.com - Electronic Components Datasheet Search [Электронный ресурс]: портал. Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Search-word=Lm833%20datasheet> свободный - Загл. с экрана (дата обращения: 10.03.2018).
27. Atmel, A. V. R. "ATmega16 datasheet."
28. Видяев, И. Г., Г. Н. Серикова, and Н. А. Гаврикова. "Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие." ИГ Видяев, ГН Серикова, НА Гаврикова, НВ Шаповалова, ЛР Тухватулина ЗВ Криницына (2014).
29. Grandars.ru – Основы Безопасности Жизнедеятельности [Электронный ресурс]: портал. - Режим доступа: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/opasnye-proizvodstvennyye-factory.html>, свободный - Загл. с экрана (дата обращения: 24.04.2018).
30. Гапонюк Н. А. Гигиеническая классификация условий труда и оценка факторов среды на продолжительность жизни человека и риск его гибели. — МГИУ, 2007.